



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

理论力学

谢传锋 王 琪 主编
程 耀 王士敏 郭易圆 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

理论力学



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/谢传锋,王琪主编. —北京:高等教育出版社,2009.12

ISBN 978-7-04-028075-3

I. 理… II. ①谢…②王… III. 理论力学-高等学校-教材 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 197495 号

策划编辑 孙成奇 责任编辑 赵向东 封面设计 杨立新 责任绘图 杜晓丹
版式设计 范晓红 责任校对 王 雨 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 28.25
字 数 520 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 12 月第 1 版
印 次 2009 年 12 月第 1 次印刷
定 价 33.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28075-00

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由原理论力学教材《静力学》(第2版)和《动力学》(第2版)整合而成。原《静力学》和《动力学》教材的第1版为面向21世纪课程教材,第2版是普通高等教育“十五”国家级规划教材。原《静力学》(第1版)也是普通高等教育“九五”国家级重点教材。本书由静力学和动力学两部分组成。其中,静力学包括几何静力学和分析静力学(虚位移原理、平衡位置的稳定性);动力学包括质点的运动学与动力学、质点系动力学(动力学普遍定理)、刚体平面运动的运动学与动力学、动静法(达朗贝尔原理)、第一类和第二类拉格朗日方程、刚体定点运动与一般运动的运动学与动力学、机械振动基础等主要内容。

本书主要特点是:1. 充分利用前修课程的基础,提高教材的起点,减少课程间内容的重复,以适应课程学时减少的需求。2. 通过调整原理论力学的内容体系,将几何静力学与分析静力学、运动学与动力学结合在一起,结构紧凑,有利于教学。3. 将计算机技术引入教材的例题和习题,应用计算机仿真进行结果分析,拓宽学生分析问题的思路,了解计算机技术在力学中的应用,提高分析与解决问题的能力。4. 根据人才培养的需求,调整了教学内容的重点,由过分强调学科的理论体系,转向更注重基础、应用、能力与素质的综合培养。5. 教材中除了有习题外,还有思考题、计算机仿真实验题目和身边的力学问题等,以提高学生应用计算机解决力学问题和理论联系实际的能力。

本书可作为高等学校工科理论力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书配有《理论力学电子教案》。

序 言

本书是由原理论力学教材《静力学》(第2版)和《动力学》(第2版)整合而成。原《静力学》和《动力学》教材的第1版为面向21世纪课程教材,第2版是普通高等教育“十五”国家级规划教材,原《静力学》(第1版)也是普通高等教育“九五”国家级重点教材,已被许多高等工科院校选用。为适应我国高等教育的发展,并根据教材使用中的一些新情况,决定对原教材第2版进行修订。编者在修订时做了以下几个方面的工作:

1. 保持原教材内容的理论体系和其他特点不变。
2. 对原教材中若干讲述过于简略的内容做了适当的补充,并增加和调整了部分例题、习题和思考题,使其更便于学生自学。
3. 在本书末尾新增加了数值仿真实验题目和身边的力学问题等,以提高学生应用计算机解决力学问题和理论联系实际的能力。

本书的修订分工如下:谢传锋和郭易圆负责第一章至第四章的修订,王琪负责第五章至第八章的修订,程耀负责第九章和第十一章的修订,王士敏负责第十章的修订,郭易圆还负责全书思考题、习题、数值仿真实验题目和身边的力学问题等的部分编写和整理工作,谢传锋和王琪任主编。

本书的修订工作得到了理论力学国家精品课程建设项目、基础力学国家级教学团队建设项目和北京市教育委员会共建项目的资助,在此表示衷心的感谢。

本书初稿承蒙清华大学贾书惠教授详细审阅,并提出了许多宝贵意见,作者谨致深切的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处尚请读者指正。

编者

2009年4月于北京航空航天大学

《静力学》第2版序言

本书第1版是教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果之一,于1999年9月出版,已为许多高等工科院校所选用。

为适应当前我国高等教育发展的形势,并根据教材使用中的一些新情况,决定对第1版进行修订,编者在修订时做了以下几方面的工作:

1. 保持原教材模块式的特点不变。
2. 保持原教材内容的理论体系和其他各项特点。
3. 原教材中若干讲述过于简略的内容,做了适当的补充,并增加和调整了例题和习题,以更便于学生自学。
4. 教材每章除附有习题外,还增加了思考题。

本教材的修订仍由原编者分工负责:谢传锋任主编并负责修订,郭易圆负责全部思考题编写及习题和答案的整理。

本书初稿承蒙上海交通大学刘延柱教授详细审阅,提出了许多宝贵意见,作者谨致深切的感谢。

由于水平有限,教材中不妥之处务请读者指正。

编者

2003年3月于北京航空航天大学

《动力学》第2版序言

本书第1版是教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果之一,于1999年9月出版,已为许多高等工科院校所选用。

为适应当前我国高等教育发展的形势,并根据教材使用中的一些新情况,决定对第1版进行修订,编者在修订时做了以下几方面的工作:

1. 保持原教材模块式的特点不变。
2. 保持原教材内容的理论体系和其他各项特点。
3. 根据需要将《动力学(I)》和《动力学(II)》两本教材合并为一本《动力学》,在第五章中增加了哈密顿原理和第一类拉格朗日方程,并删除了第八章——流体力学基础。
4. 原教材中若干讲述过于简略的内容,做了适当的补充,并增加和调整了例题和习题,以更便于学生自学。
5. 教材每章除附有习题外,还增加了思考题。

本教材的修订的分工负责:王琪负责第一、二、三、四章的修订,程耀负责第五、七章的修订,王士敏负责第六章的修订,金俐负责习题和答案的整理,谢传锋主编。

本书初稿承蒙上海交通大学刘延柱教授详细审阅,提出了许多宝贵意见,作者谨致深切的感谢。

由于水平有限,教材中不妥之处务请读者指正。

编者

2003年3月于北京航空航天大学

《静力学》第1版序言

本教材是作者参加教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”项目中“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”的研究成果之一。

高新科学技术的迅速发展和我国的社会主义市场经济对高等工科院校人才培养提出了更高更新的要求,原有高等工科院校的力学课程存在不少问题,需要对课程的教学内容和课程体系进行系列改革。通过研究与实践,我们在改革中采用了模块式设课的形式,将高等工科院校的力学课程设置为八个模块:静力学、动力学(I)、动力学(II)、材料力学(I)、材料力学(II)、流体力学基础、弹性力学和工程力学实验,编写了新的教材,供不同层次高等工科院校的各类专业组合使用。

编者在编写本教材时力求贯彻以下意图:

1. 充分体现模块式设课的教材特点,使本教材既能单独使用,又能与其他教材模块组合使用,以满足不同层次高等工科院校各类专业人才培养的需要和教学的灵活安排。

2. 通过改变原理论力学课程的内容体系,将几何静力学和分析静力学结合在一起,使平衡问题的基本理论和分析求解方法融会贯通,部分难点前移,有利于教学。

3. 根据人才培养的需要,调整课程教学内容的重点,由过分强调学科理论系统,转向更重视基础、应用、能力和素质的综合培养。

4. 充分利用前修课程的基础,提高教材的起点,减少课程间内容的重复,减少教材的篇幅,适应课程学时减少的需要。

本教材由谢传锋编写。本教材初稿完成后,曾在北京航空航天大学部分本科生中试用。

本教材初稿承蒙北京理工大学梅凤翔教授、上海交通大学刘延柱教授、东南大学诸关炯教授详细审阅,他们提出了许多宝贵意见,作者谨致深切的感谢。

本教材编写中得到北京市教委的支持和资助,特此致谢。

由于水平有限,教材中不妥之处请读者指正。

编者

1999 年 2 月于北京航空航天大学

《动力学》第1版序言

本教材是作者参加教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”项目中“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”的研究成果之一。

高新科学技术的迅速发展和我国的社会主义市场经济对高等工科院校人才培养提出了更高更新的要求,原有高等工科院校的力学课程存在不少问题,需要对课程的教学内容和课程体系进行系列改革。通过研究与实践,我们在改革中采用了模块式设课的形式,将高等工科院校的力学课程设置为八个模块:静力学、动力学(Ⅰ)、动力学(Ⅱ)、材料力学(Ⅰ)、材料力学(Ⅱ)、流体力学基础、弹性力学和工程力学实验,编写了新的教材,供不同层次高等工科院校的各类专业组合使用。

编者在编写本教材时力求贯彻以下意图:

1. 充分体现模块式设课的教材特点,使本教材既能单独使用,又能与其他教材模块组合使用,以满足不同层次高等工科院校各类专业人才培养的需要和教学的灵活安排。
2. 通过改变原理论力学课程的内容体系,将运动学与动力学结合在一起,使结构紧凑,有利于教学。
3. 在一些内容中应用计算机数值仿真进行结果分析,拓宽学生分析问题的思路,了解计算技术在力学中的应用,提高分析与解决问题的能力。
4. 根据工科专业的实际需要,增加了弹性体的振动、非线性振动概念和流体力学基础等新内容。
5. 根据人才培养的需要,调整课程教学内容的重点,由过分强调学科理论系统,转向更重视基础、应用、能力和素质的综合培养。
6. 充分利用前修课程的基础,提高教材的起点,减少课程间内容的重复,减少教材的篇幅,适应课程学时减少的需要。

本教材第一、二、三、四章由王琪编写,第五、七章由程耀编写,第六章由王士敏编写,第八章由金俐编写,谢传锋任主编。本教材初稿完成后,曾在北京航空航天大学部分本科生中试用。

本教材初稿承蒙北京理工大学梅凤翔教授、上海交通大学刘延柱教授、东南大学诸关炯教授详细审阅,他们提出了许多宝贵意见,作者谨致深切的感谢。

本教材编写中得到北京市教委的支持和资助,特此致谢。

由于水平有限,教材中不妥之处请读者指正。

编者

1999年2月于北京航空航天大学

目 录

第一部分 静 力 学

静力学绪论	(2)
第一章 质点的平衡	(4)
§ 1-1 共点力系的合成	(4)
§ 1-2 共点力系作用下质点的平衡	(9)
§ 1-3 平衡问题的解法	(10)
思考题	(22)
习题	(24)
第二章 刚体的平衡	(29)
§ 2-1 力偶系	(29)
§ 2-2 力偶系作用下刚体的平衡	(37)
§ 2-3 空间任意力系的简化	(39)
§ 2-4 各类力系作用下刚体的平衡	(47)
§ 2-5 考虑摩擦时物体的平衡	(58)
思考题	(64)
习题	(67)
第三章 刚体系与结构的平衡	(77)
§ 3-1 刚体系的平衡	(77)
§ 3-2 平面桁架	(86)
§ 3-3 重心	(94)
思考题	(101)
习题	(103)
第四章 质点系的平衡	(113)
§ 4-1 力的功	(113)
§ 4-2 约束及其分类	(119)
§ 4-3 自由度与广义坐标	(120)
§ 4-4 虚位移与虚功	(121)
§ 4-5 理想约束	(126)

§ 4-6 虚位移原理	(129)
§ 4-7 虚位移原理的应用	(131)
§ 4-8 质点系在势力场中平衡的稳定性	(137)
思考题	(142)
习题	(144)

第二部分 动 力 学

动力学绪论	(150)
第五章 质点动力学	(151)
§ 5-1 点的运动学	(151)
§ 5-2 质点运动微分方程	(161)
§ 5-3 点的复合运动	(167)
§ 5-4 质点相对运动动力学基本方程	(182)
思考题	(191)
习题	(192)
第六章 质点系动力学	(198)
§ 6-1 动量定理	(198)
§ 6-2 动量矩定理	(205)
§ 6-3 动能定理	(216)
思考题	(222)
习题	(224)
第七章 刚体动力学(一)	(230)
§ 7-1 刚体平面运动的运动学	(230)
§ 7-2 刚体定轴转动与平面运动微分方程	(243)
§ 7-3 碰撞	(255)
思考题	(261)
习题	(266)
第八章 动静法	(275)
§ 8-1 达朗贝尔原理 动静法	(275)
§ 8-2 刚体惯性力系的简化	(278)
§ 8-3 定轴转动刚体轴承动反力 静平衡与动平衡	(283)
思考题	(291)
习题	(292)
第九章 拉格朗日方程	(297)

§ 9-1 动力学普遍方程	(297)
§ 9-2 拉格朗日方程	(300)
§ 9-3 拉格朗日方程的首次积分	(312)
§ 9-4 第一类拉格朗日方程	(320)
思考题	(327)
习题	(327)
第十章 刚体动力学(二)	(335)
§ 10-1 刚体定点运动的运动学	(335)
§ 10-2 刚体定点运动的欧拉动力学方程	(348)
§ 10-3 陀螺的规则进动及其近似理论	(350)
§ 10-4 刚体一般运动的运动学与动力学	(355)
思考题	(358)
习题	(360)
第十一章 机械振动基础	(364)
§ 11-1 单自由度系统的自由振动	(364)
§ 11-2 单自由度系统的阻尼振动	(369)
§ 11-3 单自由度系统的受迫振动	(371)
§ 11-4 二自由度系统的自由振动	(376)
§ 11-5 二自由度系统的受迫振动	(379)
§ 11-6 弹性体的振动——弦的例子	(380)
§ 11-7 非线性振动概念	(384)
思考题	(388)
习题	(388)
数值仿真实验题目	(394)
身边的力学问题	(397)
附录 均质物体的转动惯量	(403)
参考文献	(406)
习题答案	(408)
索引	(422)
Synopsis	(431)
Contents	(432)
主编简介	(436)

第一部分 静 力 学

静力学绪论

力学是研究物体机械运动的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,包括变形和流动。静力学研究物体平衡的一般规律。平衡是机械运动的特殊情况,是指物体对惯性参考系保持静止,或作匀速直线平移。静力学中所研究的物体不是实际的物体,而是实际物体抽象化(或理想化)的物理模型(或称力学模型),包括质点、质点系和刚体。质点是具有质量而其尺寸可忽略不计的点;质点系是质点的集合;刚体是特殊的质点系,其上任意两个质点间的距离保持不变。

力是物体间相互的机械作用,这种作用将使物体的运动状态发生改变,或使物体变形。力使物体改变运动状态的效应称为外效应,使物体变形的效应称为内效应。对于刚体,只需考虑其外效应。力对物体作用的效应取决于力的三要素(力的大小、方向和作用点)。通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。力的三要素可以用一个矢量表示,记为黑体字母 $\boldsymbol{F}$ ^①。矢量 $\boldsymbol{F}$ 的模表示力的大小,矢量 $\boldsymbol{F}$ 的作用线方位加上箭头表示力的方向,矢量 $\boldsymbol{F}$ 的始端(或末端)表示力的作用点(图1)。像力 $\boldsymbol{F}$ 这种必须表示出作用点的矢量称为固定矢量,只需表示出作用线而无需表示出作用点的矢量称为移动矢量,作用点及作用线均无需表示出的矢量称为自由矢量。从任一点作出的力矢量 $\boldsymbol{F}$ 称为该力的力矢。一个力的力矢是一个只表示该力大小及方向的自由矢量,而不表示出其作用点。

作用在物体上的一群力称为力系,一般记为 $(\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \dots, \boldsymbol{F}_n)$ (图2)。若物体上不作用任何力,称为零力系。作用于同一刚体而效应相同的力系相互称为等效力系。作用于刚体上和零力系等效的力系称为平衡力系。如果某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。将一个力系的合力代替该力系的过程(如该力系存在合力)称为力的合成;将合力代换为几个分力的过程称为力的分解。

① 今后黑体字母都表示矢量,对应的白体字母表示该矢量的模。

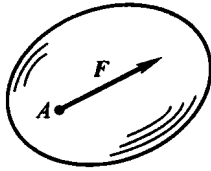


图 1

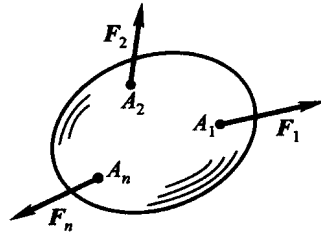


图 2

第一章 质点的平衡

本章研究质点在力系作用下的平衡问题。由于作用于质点的力系有共同的作用点,称其为共点力系。下面先研究共点力系的合成,然后再研究质点在共点力系作用下的平衡条件,最后讨论质点平衡问题的求解方法。

§ 1-1 共点力系的合成

一、共点力系合成的几何法(矢量法)

1. 二力的合成

设质点 A 上作用有力 F_1 及 F_2 (图 1-1a), 根据力的平行四边形定则, 它们可合成为一作用点为 A 的合力 F_R (图 1-1b)。实际上, 为得到合力矢 F_R , 不必画出整个平行四边形, 而只需画出其一半的三角形就可以了。为此, 可以从任一点 a 作矢量 $\vec{ab} = F_1$ (图 1-1c), 再从点 b 作矢量 $\vec{bc} = F_2$, 显然, 由点 a 至点 c 的矢量 $\vec{ac}$ 就是力 F_1 和 F_2 的合力矢 F_R 。由力矢 F_1 和 F_2 构成的三角形 abc 称为力三角形, 应用力三角形求合力的方法称为力三角形法则。

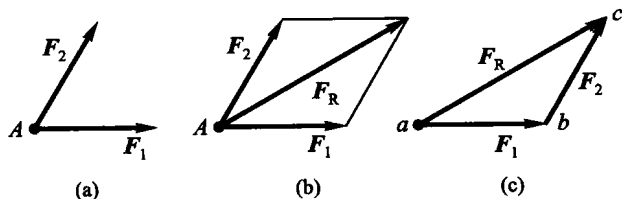


图 1-1

2. 共点力系的合成

设质点 A 上作用共点力系 $(F_1, F_2, \dots, F_n)$, 为简单计, 图 1-2a 上只画出了三个力。连续应用力三角形法则, 可将这些力依次两两合成。先从任一点 a 画出力 F_1 和 F_2 的力三角形 abc , 求出它们的合力矢 F_{R1} , 再画出 F_{R1} 与 F_3 的力三角形 acd , 求出其合力矢 F_{R2} 。 F_{R2} 就是 F_1, F_2, F_3 的合力矢 (图 1-2b)。